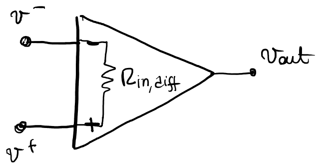
Lezione 15b: Resistenza di ingresso finita e resistenza di uscita non nulla. Effetto della retroazione sulle resistenze viste in un circuito retroazionato. Analisi per grandi segnali: corrente di uscita limitata e slew rats

martedì 5 maggio 2020 09:26

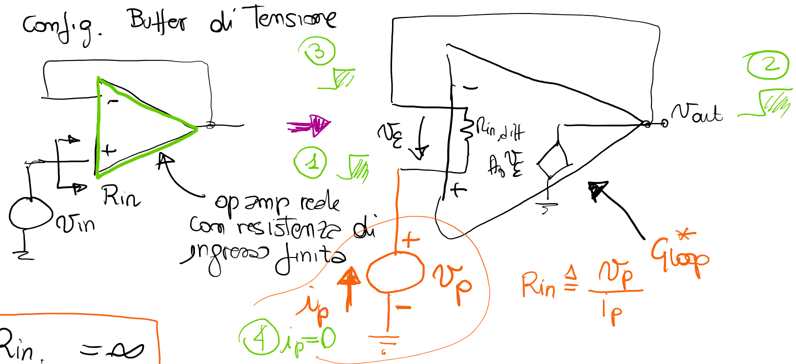
RESISTENZA DI INGRESSO FINITA



$R_{in,diff}$: resistenza di ingresso differenziale tra i morsetti dell'opamp

(R_{ID}) typ $1M\Omega \div 1T\Omega$

Config. Buffer di Tensione



$$\boxed{R_{in,\,IDEALE} = \infty}$$

$$i_p = \frac{v_\varepsilon}{R_{in\,diff}} = \frac{v_p}{(1+A_0)R_{in,diff}}$$

$$v_\varepsilon = v_p - A_0 v_\varepsilon$$

$$\hookrightarrow v_\varepsilon = \frac{v_p}{1+A_0}$$

$$R_{in} \triangleq \frac{v_p}{i_p} = \frac{\cancel{v_p}}{\cancel{v_p}}(1+A_0)R_{in,diff} = R_{in,diff}(1+A_0)$$

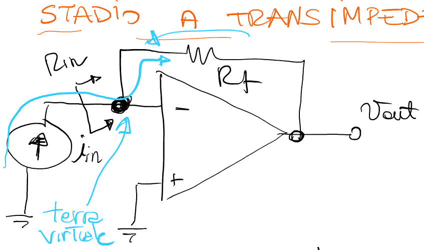
$$G_{loop} = -A_0$$

$$R^0_{in} = R_{in,diff}$$

$$\boxed{R_{in} = \underbrace{R^0_{in}}_{} \left(1 - G^*_{loop}\right)}$$

RESISTENZA VISTA A RETROAZIONE SPENTA $(A_0 = 0)$

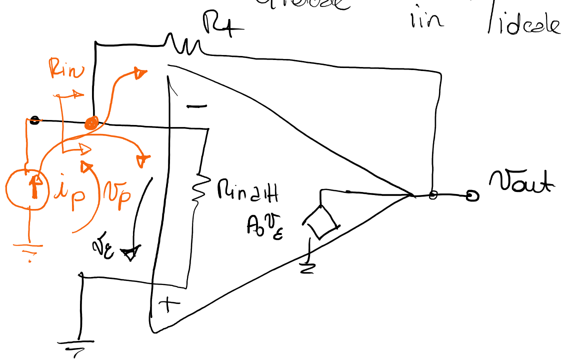
STADIO A TRANSIMPEDENZA



opamp ideale

$$v_{out}\big|_{ideale} = -i_{in} R_f$$

$$G_{ideale} = \frac{v_{out}}{i_{in}}\bigg|_{ideale} = -R_f$$



$$R_{in} \triangleq \frac{v_p}{i_p}$$

$$\begin{cases} i_p = \dfrac{v_p}{R_{in,diff}} + \dfrac{v_p - A_0 v_\varepsilon}{R_f} \\ v_\varepsilon = -v_p \end{cases}$$

$$\hookrightarrow i_p = \frac{v_p}{R_{in,diff}} + \frac{v_p + A_0 v_p}{R_f} =$$

$$= v_p \left[\frac{1}{R_{in,diff}} + \frac{(1+A_0)}{R_f} \right]$$

$$R_{in} \triangleq \frac{v_p}{i_p} = \frac{\cancel{v_p}}{\cancel{v_p}\left[\dfrac{1}{R_{in,diff}} + \dfrac{(1+A_0)}{R_f}\right]} =$$

$$= \left[\frac{1}{R_{in,diff}} + \frac{(1+A_0)}{R_f} \right]^{-1} =$$

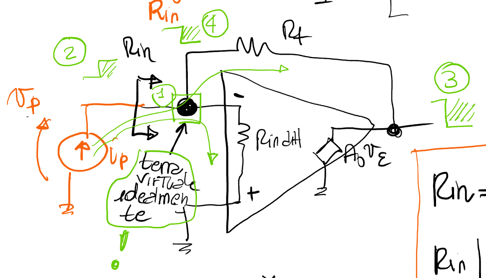
$$= R_{in,diff} \,//\, \left(\frac{R_f}{1+A_0} \right) =$$

$$= \frac{R_{in\,diff} \cdot \dfrac{R_f}{(1+A_0)}}{R_{in,diff} + \dfrac{R_f}{1+A_0}} =$$

$$= \frac{R_{in\,diff} \cdot R_f}{\underline{R_{in\,diff}} + A_0 R_{in\,diff} + \underline{R_f}} =$$

$$= \underbrace{\frac{R_{in\,diff} \cdot R_f}{R_{in\,diff} + R_f}}_{R_{in\,diff} // R_f} \cdot \frac{1}{1 + A_0 \dfrac{R_{in,diff}}{R_{in\,diff} + R_f}}$$

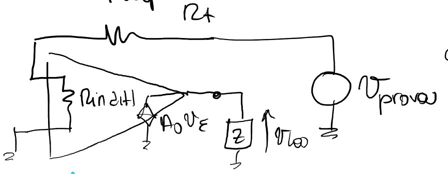
$$R_{in} = \underbrace{\left(R_{in\,diff} // R_f \right)}_{R_{in}^{0}} \frac{1}{1 - \left[-A_0 \dfrac{R_{in,diff}}{R_{in\,diff} + R_f} \right]}$$



3 R_{in}^{0} : resistenza vista a retroazione spenta

$$\boxed{\begin{aligned} R_{in} &= \frac{R_{in}^{0}}{1 - G_{loop}^{*}} \\ R_{in}\big|_{ideale} &= 0 \,! \end{aligned}}$$

Calcolo G_{loop}^{*}



$$G_{loop}^{*} \triangleq \frac{v_{loop}}{v_{prova}} = -\frac{R_{in\,diff}}{R_{in\,diff} + R_f} A_0$$

METODO DI CALCOLO DELLA RESISTENZA VISTA IN UN CIRCUITO RETROAZIONATO

1. Quale è la resistenza vista nel caso ideale?

$R_{in}\big|_{ideale} = \infty$ (la retroazione controlla la corrente nella maglia)

$R_{in}\big|_{ideale} = 0$ (la retroazione controlla la tensione del nodo)

2. applico il generatore di prova opportuno, che

la corrente nella maglia) ; la tensione del nodo)

2. applico il generatore di prova opportuno, che non "uccida" la retroazione

gen. di prova di tensione | gen. di prova di corrente

3. Calcolo il guadagno d'anello della "nuova" configurazione circuitale (G^*_{loop})
Se ho effettuato la scelta errata del generatore $G^*_{loop} = 0$!! (ASSURDO) $\Rightarrow$ cambio generatore

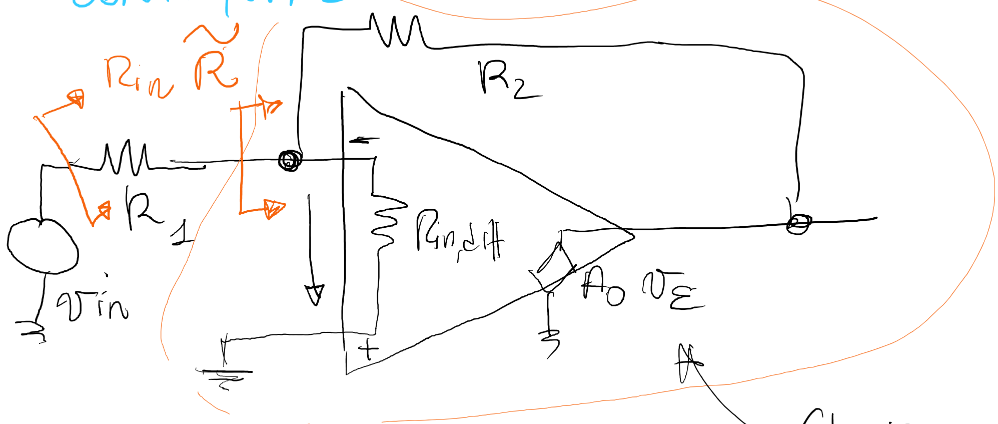
4. Calcolo la resistenza vista "a retroazione spenta" (assumendo $A_0 = 0$) $\Rightarrow R^0_{in}$

5. ottengo la resistenza vista

$R_{in} = R^0_{in}(1 - G^*_{loop})$; $R_{in} = \dfrac{R^0_{in}}{1 - G^*_{loop}}$

cioè la retroazione tende a ripristinare le condizioni di idealità

RESISTENZA DI INGRESSO DI UN AMPLIFICATORE IN CONFIGURAZIONE INVERTENTE



$R_{in}|_{ideale} = R_1 + 0$

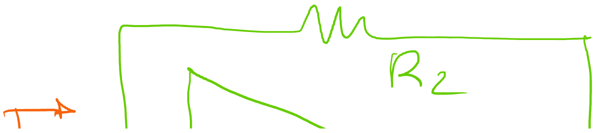
$G_{loop} = -A_0 \dfrac{R_1 // R_{in,diff}}{R_2 + R_1 // R_{in,diff}}$

$R_{in} = R_1 + \underbrace{\tilde{R}}_{\text{è modificata dalla retroazione}}$

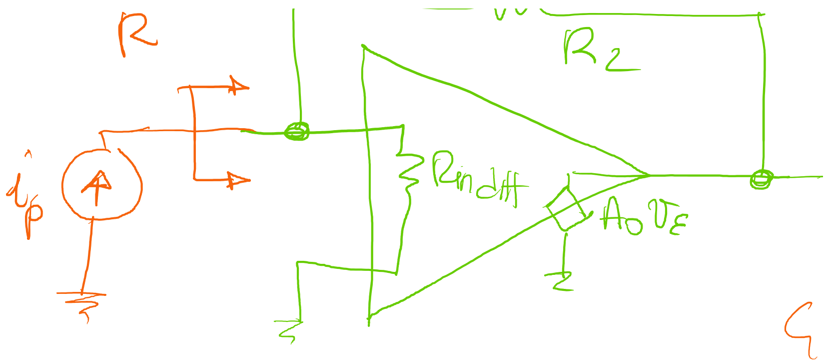
$\tilde{R}|_{ideale} = 0$

$\tilde{R} = \dfrac{\tilde{R}^0}{1 - G^*_{loop}}$

$\tilde{R}$



$\tilde{R}$ $|_{ideale} = 0$



$R_{ideale} = 0$

$$\tilde{R} = \frac{\tilde{R}^0}{1 - G_{loop}^*}$$

$$G_{loop}^* = -A_0 \frac{R_{in\,diff}}{R_{in\,diff} + R_2}$$

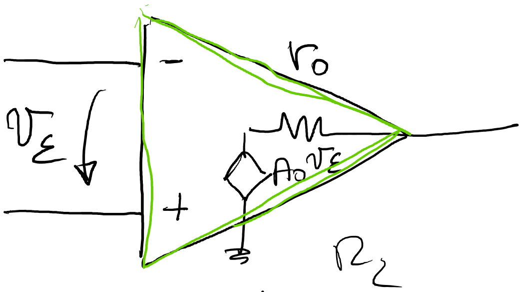
$$\tilde{R}^0 = (R_{in\,diff} \parallel R_2)$$

metto $A_0 = 0$

$\Downarrow$

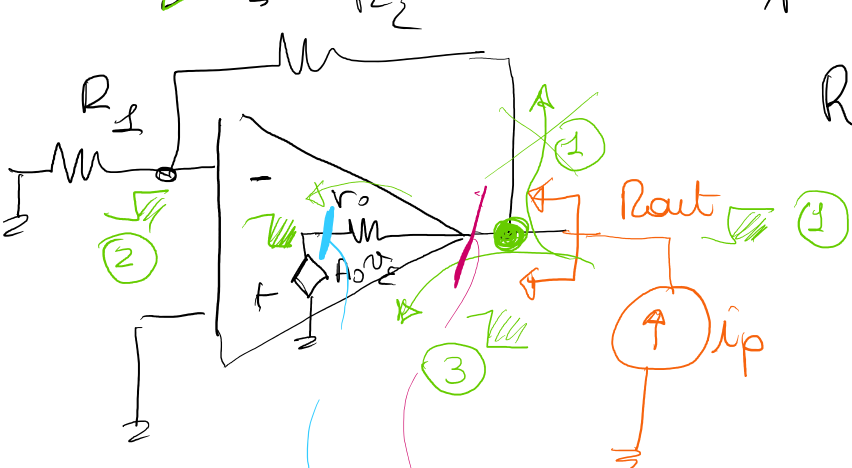
$$R_{in} = R_1 + \frac{R_{in\,diff} \parallel R_2}{1 + A_0 \frac{R_{in\,diff}}{R_{in\,diff} + R_2}}$$

* RESISTENZA DI USCITA NON NULLA



r_0 = resistenza di uscita non nulla dell'amplificatore operazionale

typ $r_0 \simeq 10 - 50\,\Omega$



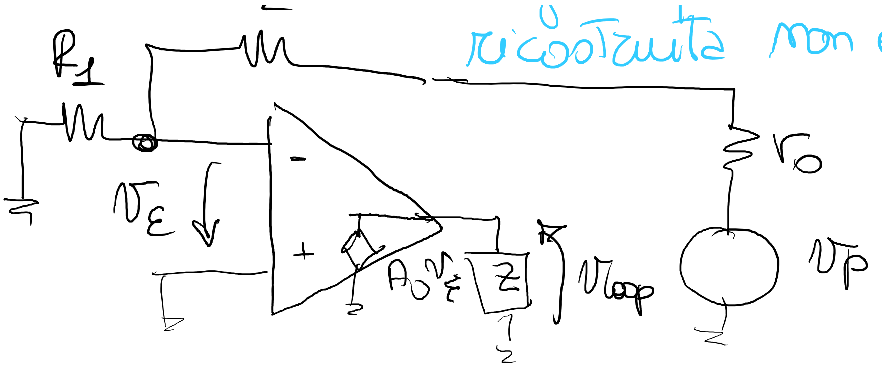
$R_{out}\big|_{ideale} = 0$

la retroazione controlla la tensione del nodo di uscita

G_{loop}^*

se tagliamo qui il valore di impedenza ricostruita entra nei calcoli di G_{loop}^*

se taglio qui il valore di impedenza ricostruita non entra nei calcoli di G_{loop}^*



ricostruita non entra nei calcoli di Gloop

$$Z = r_0 + R_2 + R_1$$

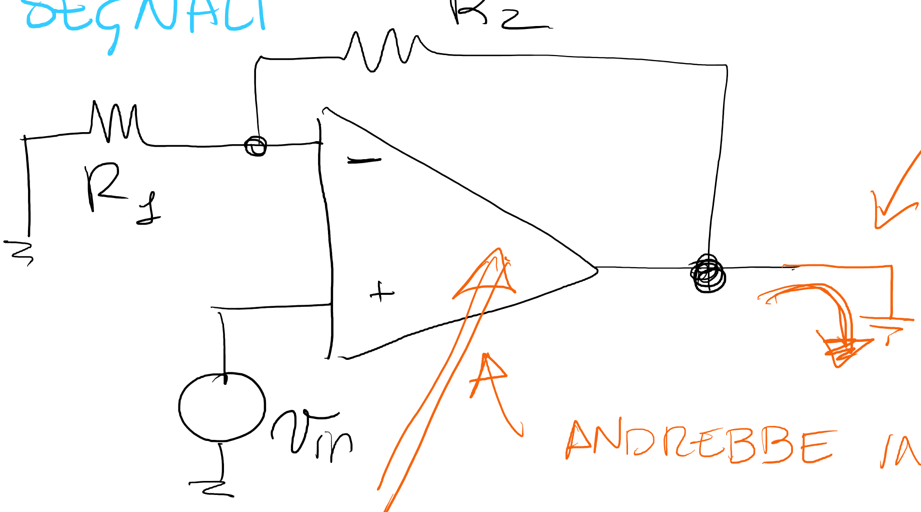
$$G^*_{loop} = \frac{v_{loop}}{v_p} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2 + r_0} A_0 \simeq -\frac{R_1}{R_1 + R_2} A_0$$

$\boxed{R^0_{out}}$ (con $A_0 = 0$) $\quad R^0_{out} = r_0 // (R_2 + R_1) \simeq$

$$\simeq r_0$$

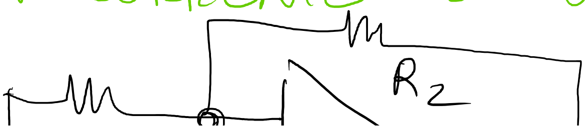
$$\Downarrow \quad R_{out} = \frac{R^0_{out}}{1 - G^*_{loop}}$$

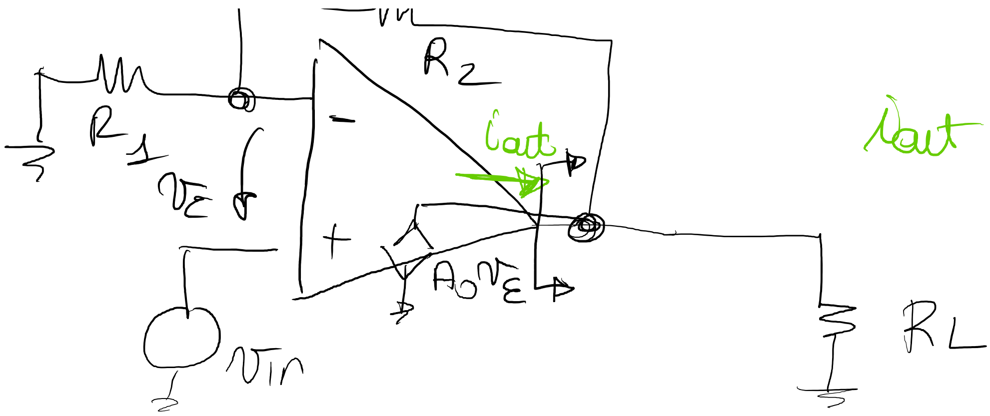
FUNZIONAMENTO DELL' OPAMP PER GRANDI SEGNALI



CIRCUITI DI PROTEZIONE CHE LIMITANO LA CORRENTE DI USCITA

* CORRENTE DI USCITA LIMITATA





$i_{out} < \underbrace{i_{out}|_{MAX}}$ limitata dai circuiti di protezione

$$i_{out} = \frac{V_{out}}{R_L} + \frac{V_{out}}{R_2+R_1} < i_{out}|_{MAX}$$

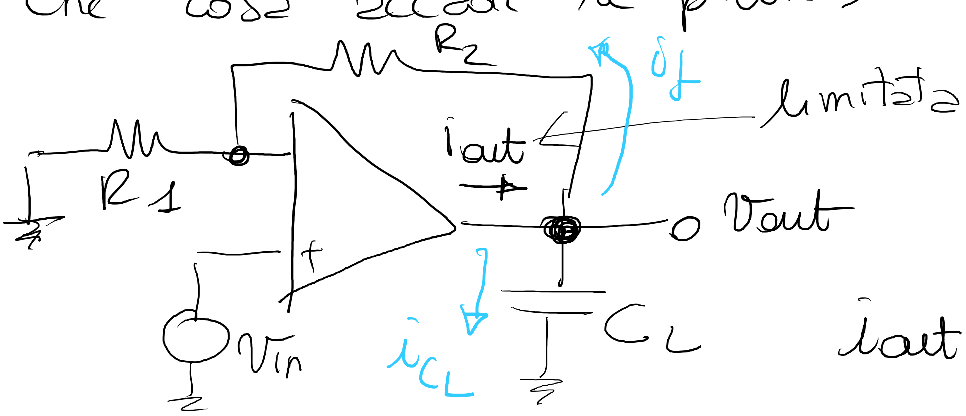
$$i_{out}|_{MAX} = \frac{\Delta V_{out}|_{MAX}}{R_{min}}$$

minimo valore di resistenza di carico che l'amplificatore operazionale può pilotare "a piena potenza", cioè con un segnale di dinamica massima

Per non avere distorsioni:

$$R_{eq} = \underbrace{R_L // (R_2+R_1)}_{\simeq R_L} > R_{min}$$

Che cosa accade se piloto un carico capacitivo?



$$i_{out} = \underbrace{\frac{V_{out}}{R_2+R_1}}_{i_f} + i_{C_L}$$

$$i_{C_L} = C_L \frac{dV_{out}}{dt}$$

6 maggio 2020

6 maggio 2020

$$i_{C_L} >> \frac{V_{out}}{R_2+R_1} \quad \text{(in generale)}$$

$$i_{C_L}\Big|_{MAX} = i_{out}\Big|_{MAX} - \frac{V_{out}}{R_2+R_1} \cong i_{out}\Big|_{MAX}$$

$$C_L \frac{dV_{out}}{dt} = i_{out}\Big|_{MAX} - \frac{V_{out}}{R_2+R_1}$$

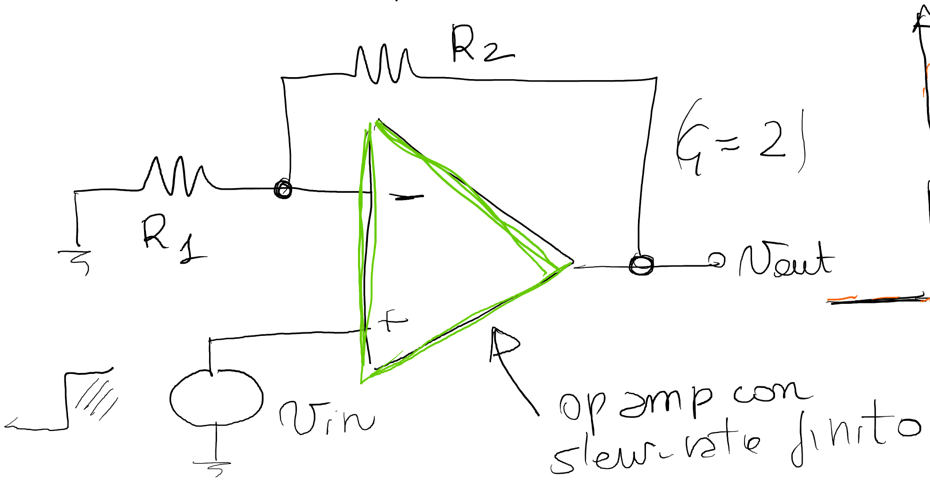
(slew rate "esterno")

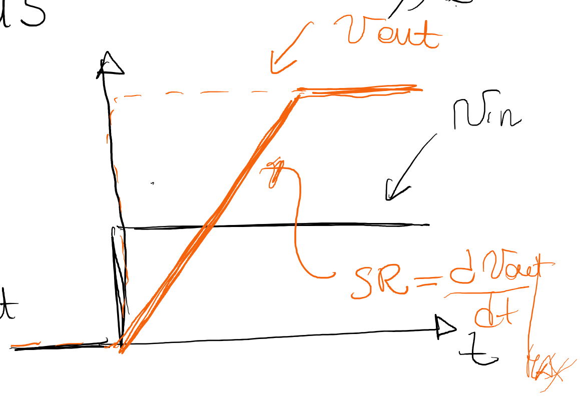
$$\to \frac{dV_{out}}{dt}\Big|_{MAX} = \frac{1}{C_L}\left[i_{out}\Big|_{MAX} - \frac{V_{out}}{R_2+R_1} \right]$$

→ POSSIBILE DISTORSIONE !!

* SLEW-RATE (SR) (interno)

$$SR = \frac{dV_{out}}{dt}\Big|_{MAX} \qquad 0.1\ V/\mu s < SR < 100\ V/\mu s$$





in presenza di un ingresso sinusoidale

$$v_{in}(t) = A_{in} \sin(2\pi f t)$$

$$\Downarrow$$

$$v_{out}(t) = A_{out} \sin(2\pi f t) \qquad \text{dove } A_{out} = A_{in} * \underbrace{G}_{\text{guadagno dello stadio}}$$

$$v_{out}(t) = A_{out} \sin(2\pi f t) \quad \text{dove } A_{out} = A_{in} * G$$

Massima pendenza della tensione di uscita

$$\omega = 2\pi f$$

$$\left.\frac{d v_{out}}{dt}\right|_{MAX} = \left. A_{out}\, 2\pi f \cos \omega t \right|_{MAX} =$$

$$= A_{out}\, 2\pi f < SR$$

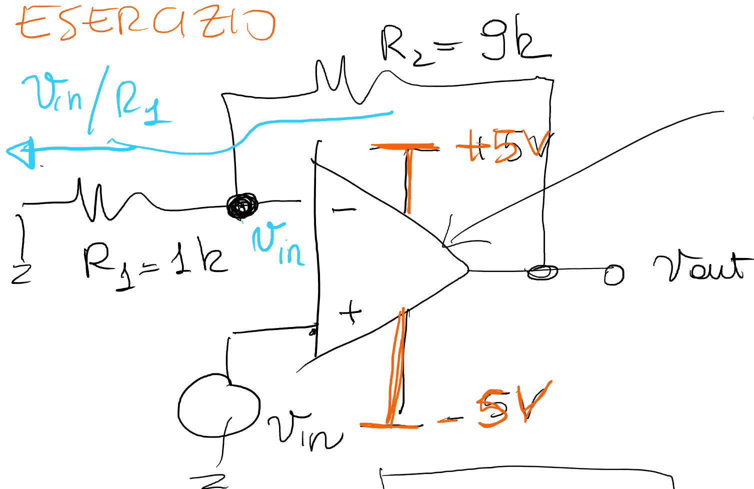
V_{FS} = massima escursione positiva o negativa (opposte uguali della tensione di uscita)

$$V_{FS}\, 2\pi f < SR$$

$$\boxed{f_{MAX} < \frac{SR}{2\pi V_{FS}}}$$

LARGHEZZA DI BANDA A PIENA POTENZA

ESERCIZIO



$SR = 0.5\ V/\mu s$

$$v_{out} = \frac{v_{in}}{R_1}(R_2 + R_1)$$

A $\boxed{f = 10\,kHz}$

$$\omega = 2\pi f$$

$$v_{in}(t) = A_{in} \sin(\omega t)$$

$A_{in}\big|_{MAX}$ per non avere distorsioni in uscita?

$$G_{ideale} \triangleq \left.\frac{v_{out}}{v_{in}}\right|_{ideale} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 10$$

$$G_{ideale} \triangleq \left.\frac{v_{out}}{v_{in}}\right|_{ideale} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 10$$

di distorsioni in uscita?

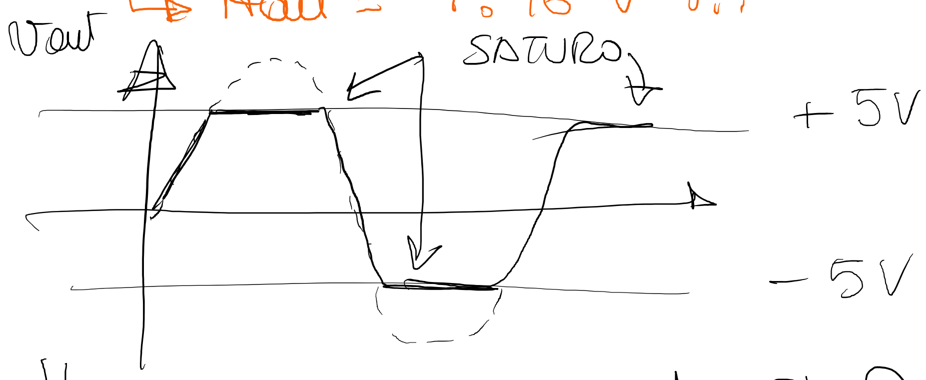
$$V_{out}(t) = A_{out} \sin \omega t \qquad A_{out} = G_{ideale} A_{in}$$

$$\left.\frac{d v_{out}}{dt}\right|_{MAX} = A_{out}\,\omega = G_{ideale} A_{in} 2\pi f < SR$$

$$A_{in} < \frac{SR}{2\pi f G_{ideale}} = \frac{0.5 \text{ V}/\mu s}{2\pi \, 10 \text{kHz} \, 10} =$$

$$= 796 \text{ mV}$$

$\Rightarrow A_{out} = 7.96$ V !!!



⇓ non sono limitato da SR @ $f = 10$ kHz, ma dalla saturazione della tensione di uscita

Se, invece, $f = 20$ kHz $\Rightarrow$ limitazione da SR

$$A_{in} \leq 398 \text{ mV} \Rightarrow A_{out} = 3.98 \text{ V}$$